

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-081906

(43)Date of publication of application : 21.03.2000

(51)Int.Cl. G05B 19/4068
G05B 17/00
// G06F 17/00

(21)Application number : 10-251654

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 04.09.1998

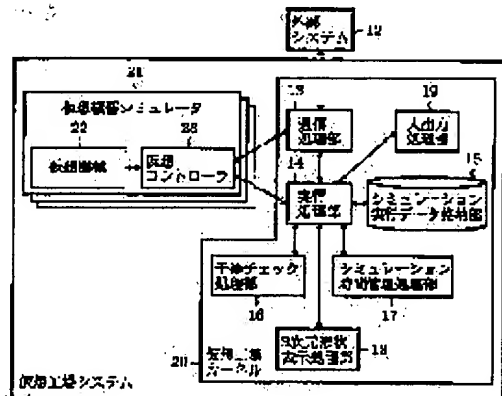
(72)Inventor : OHASHI KAZUFUMI
FUJITA SATORU

(54) VIRTUAL PLANT SIMULATION DEVICE AND ITS METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily obtain model constitution for changing the constitution of an equipment model with the change of a real machine or independently executing the simulation of a controller part and that of a machine part.

SOLUTION: A virtual plant system is constituted of plural virtual equipment simulators 21 each of which is provided with a virtual controller 23 for simulating a controller and a virtual machine 22 for simulating the motion of a machine and a virtual plant kernel 20 provided with an execution processing part 14 for executing simulation using the simulator 21, an interference checking processing part 16 for checking the three-dimensional(3D) shape interference of an equipment model, a simulation time management processing part 17 for managing time in the simulation and a 3D shape display processing part 18 for executing 3D shape display processing for the equipment model.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.07.2002

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 26.10.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-81906
(P2000-81906A)

(43) 公開日 平成12年3月21日 (2000.3.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 5 B 19/4068		G 0 5 B 19/405	Q 5 B 0 4 9
	17/00		5 H 0 0 4
// G 0 6 F 17/00		G 0 6 F 15/20	D 5 H 2 6 9

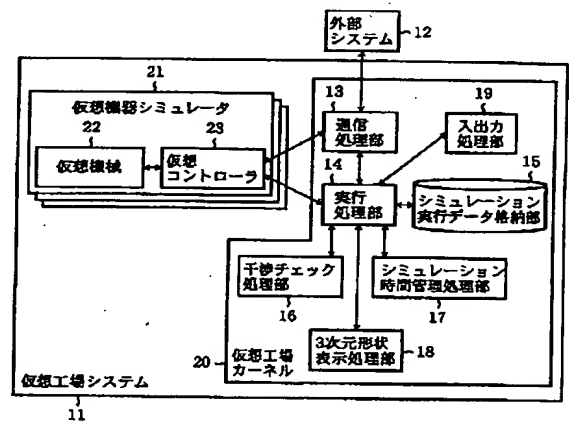
審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願平10-251654	(71) 出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(22) 出願日	平成10年9月4日(1998.9.4)	(72) 発明者	大橋 一史 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
		(72) 発明者	藤田 悟 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
		(74) 代理人	100066474 弁理士 田澤 博昭 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 仮想工場シミュレーション装置および仮想工場シミュレーション方法

(57) 【要約】
【課題】 実機の変更に伴う機器モデル構成の変更や、コントローラ部分と機械部分のシミュレーションを独立に行うためのモデル構成を容易にする。
【解決手段】 コントローラを模擬する仮想コントローラ23と機械運動を模擬する仮想機械22を備えた複数の仮想機器シミュレータ21と、仮想機器シミュレータによるシミュレーションを実行する実行処理部14、機器モデルの3次元形状の干渉をチェックする干渉チェック処理部16、シミュレーション内の時間管理を行うシミュレーション時間管理処理部17、および機器モデルの3次元形状の表示処理を行う3次元形状表示処理部18を備えた仮想工場カーネル20にて仮想工場システムを構成した。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 工場の機器などのリソースを、動作データおよび3次元形状データによってモデル化した機器モデルを用いて工場をシミュレーションする仮想工場シミュレーション装置において、
前記動作データに基づいてコントローラを模擬する仮想コントローラ、
および前記仮想コントローラからの駆動指令により機械運動を模擬する仮想機械を有する複数の仮想機器シミュレータと、
前記仮想機器シミュレータの動作データを格納するシミュレーション実行データ格納部、
前記シミュレーション実行データ格納部に格納されたデータに基づいて前記仮想機器シミュレータによるシミュレーションを実行する実行処理部、
前記機器モデルの3次元形状の干渉をチェックする干渉チェック処理部、
前記実行処理部で実行されるシミュレーション内の時間管理を行うシミュレーション時間管理処理部、
前記機器モデルの3次元形状の表示処理を行う3次元形状表示処理部、
および外部システムとの通信を行う通信処理部を有する仮想工場カーネルとを備えたことを特徴とする仮想工場シミュレーション装置。

【請求項2】 仮想コントローラが、
仮想工場カーネルとの通信を行う通信処理部と、
入力されたコマンドを解釈するコマンド解析処理部と、
処理する前記コマンドが移動コマンドであった場合、当該移動コマンド入力に対して、動作データに基づく移動軌跡の補間を行う軌跡補間処理部と、
前記軌跡補間処理部で得られた補間点列データより仮想機械の関節変数の値を求めて、移動位置・姿勢データを生成する逆運動学解析処理部と、
前記補間点列データや加減速パターンをはじめとする動作データ、および実行プログラムを格納する動作データ格納部とを有することを特徴とする請求項1記載の仮想工場シミュレーション装置。

【請求項3】 仮想機械が、
機械を構成する構成部品の3次元形状データを格納する3次元形状データ格納部と、
前記機械を構成する構成部品の位置・姿勢データを格納する位置・姿勢データ格納部と、
前記機械を構成する構成部品間の機構データを格納する機構データ格納部と、
前記機械を構成する構成部品の3次元形状データと機構データから、前記機械の動作を模擬し、位置・姿勢データを更新する実行処理部とを有することを特徴とする請求項1記載の仮想工場シミュレーション装置。

【請求項4】 工場の機器などのリソースを動作データおよび3次元形状データによってモデル化した機器モデ

ルを用いて工場をシミュレーションする仮想工場シミュレーション装置において、
それぞれがデータ格納部とデータ処理部を備えた通信要素、形状要素、挙動要素、および属性要素を有して、通信処理部、仮想機械の形状、仮想コントローラおよび仮想機械の挙動、仮想機器の属性を表現する複数の仮想工場単位オブジェクトと、
前記仮想工場単位オブジェクトの動作データを格納するシミュレーション実行データ格納部、

- 10 前記シミュレーション実行データ格納部に格納されたデータに基づいて前記仮想機器シミュレータによるシミュレーションを実行する実行処理部、
前記機器モデルの3次元形状の干渉をチェックする干渉チェック処理部、
前記実行処理部で実行されるシミュレーション内の時間管理を行うシミュレーション時間管理処理部、
前記機器モデルの3次元形状の表示処理を行う3次元形状表示処理部、
および外部システムとの通信を行う通信処理部を有する仮想工場カーネルとを備えたことを特徴とする仮想工場シミュレーション装置。

【請求項5】 仮想工場カーネルが、
仮想機器シミュレータの設置基準点等の位置・姿勢データを作業変数として定義する作業変数定義部と、
前記作業変数定義部で定義された作業変数の情報を格納する作業変数情報格納部と、
前記作業変数を実際の有効な値に変換する作業変数変換処理部とを有することを特徴とする請求項1または請求項2記載の仮想工場シミュレーション装置。

- 30 【請求項6】 外部とのデータ通信で得られた動作データ、もしくはすでに格納されていた動作データに基づいてコントローラを模擬する仮想コントローラ、および前記仮想コントローラの駆動指令により機械運動を模擬する仮想機械を備えて、仮想機器のシミュレーションを行う複数の仮想機器シミュレータと、
前記仮想機器シミュレータの動作データを格納するシミュレーション実行データ格納部、前記シミュレーション実行データ格納部に格納されたデータに基づいて前記仮想機器シミュレータによるシミュレーションを実行する
40 実行処理部、機器モデルの3次元形状の干渉をチェックする干渉チェック処理部、前記実行処理部によるシミュレーション内の時間管理を行うシミュレーション時間管理処理部、前記機器モデルの3次元形状の表示処理を行う3次元形状表示処理部、および外部システムとの通信を行う通信処理部を有する仮想工場カーネルとを備え、
工場の機器などのリソースを、動作データおよび3次元形状データによってモデル化した機器モデルを用いて工場をシミュレーションする仮想工場シミュレーション方法において、
50 前記外部システムから送られてくる前記仮想機器シミュ

レータの動作データを受け取ると、それを当該仮想機器シミュレータの前記仮想コントローラに渡してその動作データ格納部に格納し、

前記仮想工場カーネルの実行処理部は前記仮想機器シミュレータに対して、その仮想コントローラおよび仮想機械の処理を実行するための処理タスクをシミュレーション実行データ格納部に登録し、

前記仮想工場カーネルの実行処理部はシミュレーションが開始されると、前記シミュレーション実行データ格納部に登録された処理タスクを順番に処理することを特徴とする仮想工場シミュレーション方法。

【請求項7】 入力されたコマンドを解釈するコマンド解析処理部、処理するコマンドが移動コマンドである場合にその補間を行う軌跡補間処理部、位置・姿勢データから機械の関節変数の値へ変換する逆運動学解析処理部、仮想工場カーネルと通信する通信処理部、および動作データを格納する動作データ格納部とを有する仮想コントローラと、

機械の構成部品の3次元形状データを格納する3次元形状データ格納部、前記機械の構成部品の位置・姿勢データを格納する位置・姿勢データ格納部、前記機械の構成部品間の機構データを格納する機構データ格納部、および前記機械の構成部品の3次元形状と機構データから機械の動作を模擬し、位置・姿勢データを更新する実行処理部を有する仮想機械とを備え、

前記軌跡補間処理部によって、前記移動コマンド入力に対して加減速パターン等の動作データをもとに移動軌跡補間を行い、

前記移動軌跡補間によって得られた補間点列データから、前記仮想機械の移動位置・姿勢データを生成することを特徴とする請求項6記載の仮想工場シミュレーション方法。

【請求項8】 仮想機器が扱うワークを、前記仮想機器と同じ構造で表現することを特徴とする請求項6記載の仮想工場シミュレーション方法。

【請求項9】 センサーのセンシング領域を3次元形状で表現することによって、前記センサーを仮想機械と同じ構造で表現することを特徴とする請求項6記載の仮想工場シミュレーション方法。

【請求項10】 工場の機器などのリソースを、動作データおよび3次元形状データによりモデル化した機器モデルを用いて工場をシミュレーションする仮想工場シミュレーション方法において、

仮想機器が扱うワークを、前記仮想機器が保持したか否かを判定して、前記仮想機器の機器形状と前記ワークのワーク形状との間の親子関係を定義し、

前記親子関係を定義された仮想機器の動作区間において、前記ワークと仮想機器と一緒に動くことで、その動作が別途定義されていないワークの搬送シミュレーションを実行することを特徴とする仮想工場シミュレーション方法。

ン方法。

【請求項11】 工場の機器などのリソースを動作データおよび3次元形状データによってモデル化した機器モデルを用いて工場をシミュレーションする仮想工場シミュレーション方法において、

通信処理部、仮想機械の形状、仮想コントローラおよび仮想機械の挙動、仮想機器の属性を、それぞれがデータ格納部とデータ処理部を備えた通信要素、形状要素、挙動要素、属性要素からなる複数の仮想工場単位オブジェクトとして表現し、

前記仮想工場単位オブジェクトは他の仮想工場単位オブジェクトとの階層関係を管理することを特徴とする仮想工場シミュレーション方法。

【請求項12】 工場の機器などのリソースを、動作データおよび3次元形状データによりモデル化した機器モデルを用いて工場をシミュレーションする仮想工場シミュレーション方法において、

前記動作データによりコントローラを模擬する仮想コントローラからの駆動指令によって機械運動を模擬する仮想機械の基準位置・姿勢データを定義して、それを基準位置・姿勢データ格納部に格納し、

前記仮想機器の基準位置間の関係を作業変数定義部において作業変数として定義し、

定義された前記作業変数に関する情報を作業変数情報格納部に格納し、

前記作業変数を作業変数変換部にて実際の有効な値に変換し、

前記変換された作業変数に基づくコマンドを、前記仮想コントローラにて実行することを特徴とする仮想工場シミュレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は工場、ライン、セルおよび機器をシミュレーションするための仮想工場シミュレーション装置および方法に関するものであり、特に工場の機器などのリソースを、動作データおよび3次元形状データによってモデル化した機器モデルを用いてシミュレーションする仮想工場シミュレーション装置および仮想工場シミュレーション方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】生産システムが高度化するに従い、複数の機器を組み合わせてシステムを構成することが増えている。設計者は、ユーザの要求仕様を満たすようにシステム設計することが必要であるが、実際にシステムを構築する前に、システムの能力を定量的に評価することは非常に難しい。そのため、開発工程としては、机上でシステムの概略性能を評価し、作成された各機器の仕様を作成した後、実システムを開発する。そして、客先に納入する前に実機を用いて、まず制御プログラムのテスト

およびデバッグを、極力機器単体で行い、次に実システムを組み上げて制御プログラムのテスト、デバッグを行う。しかしながら、機器単体のテストにおいて、周辺機器による入出力データがないとテストできない場合が少なくない。また、近年納期の短縮が要求されており、すべての機器を組み合わせて事前にテストできる期間が短い。特に、個別の機器が特別注文の場合、機器自身の完成が納期ぎりぎりになり、組み合わせテストだけでなく、単体テストですら困難な場合がある。

【0003】ロボット単体では、従来よりシミュレータによる性能評価が行われている。複数の機器を含むシステムにおいては、機器間でのデータの入出力による依存関係が発生し、機器単体だけを取り出して性能評価しても不十分であり、周辺機器を含めた工場、ライン、セルといったシステム全体でのシミュレーションが必要である。そこで、特開平8-272844号公報、特開平9-201746号公報に示すように、計算機上でまず使用する機器をすべてモデル化し、さらに工場、ラインもしくはセルといったシステム規模でのシミュレーションを行い、そのシステムの性能を評価するケースが増えている。さらに、計算機上で機器の機能を模擬したモデルを利用して、検証対象機器は実機、周辺機器はシミュレーションにより事前検証することが行われつつある。

【0004】図26は例えば、上記特開平9-201746号公報に示された従来の仮想工場シミュレーション装置の概略構成を示すブロック図である。図において、1はそのシミュレーション装置であり、2はシミュレーション装置1を構成する入出力部、3は同じくシミュレーション演算部、4は同じく表示処理演算部、5は同じくデータ変換処理演算部である。6はシミュレーション装置1に接続された表示装置、7は同じく入力装置、8は同じく外部入力装置、9は同じく外部出力装置である。10はシミュレーションプログラムが記憶されて、シミュレーション装置1に接続された記憶手段として記憶装置であり、この記憶装置10は、データモデルの関係を記述しているプログラム記述部、シミュレーションで使用する実際のデータを記憶するデータ記憶部、シミュレーションで使用するデータを他のシミュレーションにおいて得られたデータから使用可能な状態に変換するためのデータ変換ルールを記憶しているデータ変換ルール部とが一体になった形式で構成されている。

【0005】次に動作について説明する。シミュレーション装置1は、入力装置7を介して使用者により入力される種々のデータやコマンドなどの操作入力を入出力部2で受けて、シミュレーション演算部3により処理し、操作入力のデータやコマンドの入力状態やシミュレーション処理の実行状態などを入出力部2より表示装置6に出力して表示する。また、これらの操作入力や表示出力あるいはデータは、外部入力装置8あるいは外部出力装置9に対して授受を行うようになっている。なお、上記

シミュレーション演算部3における処理は、記憶装置10から読み込んだ必要な機器のデータモデルを用いて実行している。

【0006】ここで、生産設備で使用される実際の機器の多くは、通常、コントローラ、機械、もしくはその組み合わせで構成されている。従来の仮想工場シミュレーション装置においては、各機器のモデルはその機器単位で機器を模擬するデータと実行プログラムで構成され、それ以上には分割されていない。また、実際のロボットや加工機においては、コントローラと機械の組み合わせで構成されており、コントローラと機械部分がハードウェア的に独立している。そして、バージョンアップ等でコントローラもしくは機械のみが変更され、コントローラと機械の組み合わせが変更される場合も少なくない。また、ユーザからの要求によって上記組み替えが行われる場合もある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の仮想工場シミュレーション装置は以上のように構成されているので、例えば、複数タイプのロボットにおいてコントローラと機械の組み合わせを変更する際に、同じコントローラに変更するような場合、シミュレータ側においては各ロボットのコントローラ部分を模擬実行するプログラムをコードレベルで変更することが必要になるという課題があった。

【0008】また、生産設備で取り扱うワークの動作は、機器の動作データとは別に、プログラムもしくは移動位置のデータといったワークの動作データを定義することが必要であり、そのような方式では、機器の動作プログラムのプログラムミスにより機器の動作が誤っていても、ワークは正常に動作するため、機器の制御プログラムの不具合等を見落とす可能性があるといった課題もあった。

【0009】さらに、ロボットのような移送機器の動作プログラムでは、ワークの把持等で周辺機器との相対位置が関係しており、機器レイアウトが変更される毎に、各機器の動作プログラムを変更する必要があるという課題もあった。

【0010】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、コントローラ部分と機械部分の組み合わせに変更があっても、実際の機器と同様にモデルチェンジを行うことができ、誤った機器動作の定義を行った場合でもワークの動作の異常を見落とすようなことがなく、機器レイアウト変更に対応できる仮想工場シミュレーション装置および方法を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】この発明に係る仮想工場シミュレーション装置は、複数の仮想機器シミュレータと、仮想工場カーネルとからなり、仮想機器シミュレー

10

20

30

40

50

タはコントローラを模擬する仮想コントローラと、機械運動を模擬する仮想機械とを備え、仮想工場カーネルは仮想機器シミュレータによるシミュレーションを実行する実行処理部と、機器モデルの3次元形状の干渉をチェックする干渉チェック処理部と、シミュレーション内の時間管理を行うシミュレーション時間管理処理部と、機器モデルの3次元形状の表示処理を行う3次元形状表示処理部と、外部システムとの通信を行う通信処理部とを備えたものである。

【0012】この発明に係る仮想工場シミュレーション装置は、仮想工場カーネルとの通信を行う通信処理部、10 コマンドを解釈するコマンド解析処理部、移動コマンド入力に対して、動作データに基づく移動軌跡の補間を行う軌跡補間処理部、得られた補間点列データより仮想機械の関節変数の値を求めて、移動位置・姿勢データを生成する逆運動学解析処理部、および動作データや実行プログラムを格納する動作データ格納部を仮想コントローラに持たせたものである。

【0013】この発明に係る仮想工場シミュレーション装置は、構成部品の3次元形状データを格納する3次元形状データ格納部、構成部品の位置・姿勢データを格納する位置・姿勢データ格納部、構成部品間の機構データを格納する機構データ格納部、上記3次元形状データと機構データから機械の動作を模擬し、位置・姿勢データを更新する実行処理部を仮想機械に持たせたものである。

【0014】この発明に係る仮想工場シミュレーション装置は、それぞれがデータ格納部とデータ処理部を備えた通信要素、形状要素、挙動要素、および属性要素を有して、通信処理部、仮想機械の形状、仮想コントローラおよび仮想機械の挙動、仮想機器の属性を表現する仮想工場単位オブジェクトによって、仮想機器シミュレータを代替したものである。

【0015】この発明に係る仮想工場シミュレーション装置は、仮想機器シミュレータの位置・姿勢データを作業変数として定義する作業変数定義部、定義された作業変数の情報を格納する作業変数情報格納部、およびその作業変数を実際の有効な値に変換する作業変数変換処理部を、仮想工場カーネルに持たせたものである。

【0016】この発明に係る仮想工場シミュレーション方法は、外部システムから転送された動作データを動作データ格納部に格納し、仮想機器シミュレータに対して、その仮想コントローラおよび仮想機械の処理を実行するための処理タスクをシミュレーション実行データ格納部に登録し、シミュレーション開始時にその処理タスクを順番に処理するようにしたものである。

【0017】この発明に係る仮想工場シミュレーション方法は、移動コマンド入力に対する移動軌跡補間を、加減速パターン等の動作データをもとに、仮想コントローラの軌跡補間処理部で行い、この移動軌跡補間で得られ

た補間点列データから、仮想機械の移動位置・姿勢データをその実行処理部で生成処理するようにしたものである。

【0018】この発明に係る仮想工場シミュレーション方法は、仮想機器と同じ構造で、当該仮想機器が扱うワークも表現するようにしたものである。

【0019】この発明に係る仮想工場シミュレーション方法は、センサーのセンシング領域を3次元形状で表現することで、仮想機械と同じ構造で当該センサーも表現するようにしたものである。

【0020】この発明に係る仮想工場シミュレーション方法は、仮想機器がワークを保持したか否かを判定して、当該仮想機器とワークの形状との間の親子関係を定義し、ワークと仮想機器が当該親子関係が定義された仮想機器の動作区間で一緒に動くことにより、その動作が別途定義されていないワークの搬送シミュレーションを実行するようにしたものである。

【0021】この発明に係る仮想工場シミュレーション方法は、通信処理部、仮想機械の形状、仮想コントローラおよび仮想機械の挙動、仮想機器の属性を、通信要素、形状要素、挙動要素、および属性要素からなる仮想工場単位オブジェクトとして表現し、その仮想工場単位オブジェクトの階層関係を管理することで、仮想機器を構成する仮想コントローラおよび仮想機械を統一的に表現するようにしたものである。

【0022】この発明に係る仮想工場シミュレーション方法は、仮想機器の基準位置・姿勢データを定義して基準位置・姿勢データ格納部に格納し、仮想機器の基準位置間との関係を作業変数として定義して、作業変数情報格納部にその作業変数に関する情報を格納し、作業変数変換部でその作業変数を実際の有効な値に変換したコマンドを仮想コントローラで実行するようにしたものである。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による仮想工場シミュレーション装置を示すブロック図である。図において、11は仮想工場システムであり、12はラインコントローラやセルコントローラのような、この仮想工場システム11に接続された外部システムである。この仮想工場システム11内において、13は外部システム12とのデータ入出力を行うための通信処理部であり、14はシミュレーションの実行を行う実行処理部、15はこの実行処理部14におけるシミュレーションの実行に必要なデータを格納するためのシミュレーション実行データ格納部である。16は3次元形状の干渉チェックを行う干渉チェック処理部、17はシミュレーション内の時間を管理するシミュレーション時間管理処理部、18は機器モデルの3次元形状の表示処理を行う3

次元形状表示処理部であり、19はユーザによるシミュレーションに必要なデータの外部入力装置からのデータ入力と、表示装置等の外部出力装置とのデータ交換を行う入出力処理部である。20はこれら各部13～19からなる仮想工場カーネルである。

【0024】また、21はロボット、工作機械、あるいはセンサー等の各機器に対応して用意され、それら各機器における動作、形状、通信、属性に関するデータと、データ処理部をもつ仮想機器シミュレータである。この仮想機器シミュレータ21内において、22は仮想機器の3次元形状および機構部分を表わす仮想機械であり、23はこの仮想機械22の位置・姿勢等の機器の動作に関するデータ処理を行う仮想コントローラである。

【0025】図2は上記仮想機械22の内部構成の一例を示すブロック図である。図において、31は機器形状の位置の更新処理を行う実行処理部であり、32は構成部品数、構成部品の接続関係、構成部品に取り付けられた座標系の関係パラメータ、関節の種類といった機構データを格納する機構データ格納部、33は仮想機械22を構成する構成部品の関節変数の値、もしくは空間上での位置・姿勢データを格納する位置・姿勢データ格納部、34は各構成部品の3次元形状データを格納する3次元形状データ格納部である。また、35は仮想コントローラ23との通信を行う通信処理部である。

【0026】図3は仮想コントローラ23の内部構成の一例を示すブロック図である。図において、41は仮想工場カーネル20、あるいは他の仮想機器シミュレータ21および仮想機械22等の当該仮想工場システム11の内部構成部品との間でデータ入出力を行うための通信処理部である。42は仮想機械22の制御処理を行う実行処理部であり、43はその際に必要なプログラム、加減速パターン等の動作データを格納しておく動作データ格納部である。44は入力されたコマンドを解釈するコマンド解析処理部、45は入力されたコマンドが機器の移動コマンドであった場合に、機器が動作する軌道の補間計算を行い、軌跡点列データを生成する軌跡補間処理部であり、46はこの軌跡補間処理部45にて求められた軌跡点列データから、仮想機械22の機構データに基づいて、各関節での関節変数の値に分解する逆運動学解析処理部である。

【0027】次に動作について説明する。ここでは、まず仮想工場システム11の実行について説明する。仮想工場システム11の実行に際して、使用する仮想機器シミュレータ21の機種、個数、各仮想機器シミュレータ21の構成データ、レイアウト情報等が、仮想工場カーネル20の入出力処理部19から入力される。実行処理部14はこの入出力処理部19より入力されたデータに基づいて、必要な仮想機器シミュレータ21の実体を生成し、それをシミュレーション実行データ格納部15に登録する。また、仮想機器シミュレータ21の構成デー

タにおいて、加減速パターン等の動作データは仮想コントローラ23の動作データ格納部43に格納し、また機構構成情報は仮想機械22の機構データ格納部32に、機器の3次元形状データは3次元形状データ格納部34にそれぞれ格納する。

【0028】仮想工場カーネル20の通信処理部13は、セルコントローラのような外部システム12から送られてくる、仮想機器シミュレータ21に関する起動指示や実行プログラム名といった実行データを受け取り、それを該当する仮想機器シミュレータ21の仮想コントローラ23に渡す。当該仮想コントローラ23ではその実行データを通信処理部41で受け取り、実行処理部42にてその受け取った実行データのプログラム名に基づいて、プログラムデータを動作データ格納部43への格納を行う。そして、仮想工場カーネル20の実行処理部14は、仮想機器シミュレータ21の仮想機械22および仮想コントローラ23の処理を実行するための処理タスクを、シミュレーション実行データ格納部15のタスクリストへ登録する。

【0029】実行処理部14においてシミュレーションが実行されると、実行処理部14は上記シミュレーション実行データ格納部15のタスクリストに登録されているタスクを順番に処理する。すなわち、まず各仮想機器シミュレータ21のタスクを処理し、当該タスクの処理が終了した後、システムのタスクである干渉チェック処理部16、シミュレーション時間管理処理部17、および3次元形状表示処理部18の各タスクを実行する。

【0030】次に、仮想機器シミュレータ21の仮想コントローラ23および仮想機械22のタスクと、システムに関する上記各タスクについて説明する。まず、仮想コントローラ23のタスクにおいては、動作データ格納部43に補間点列データが格納されていない場合、実行処理部42は動作データ格納部43に登録されたコマンドを取り出し、コマンド解析処理部44で処理する。処理するコマンドが移動コマンドの場合には、軌跡補間処理部45において、動作データ格納部43に動作データとして格納されている加減速パターンをもとに補間点列データを生成し、それを動作データ格納部43へ格納する。なお、処理するコマンドが移動コマンドでない場合には、動作データ格納部43から次のコマンドを取得してそれを処理する。

【0031】ここで、上記補間点列データが存在する場合には、まず、その補間点列データより点データを取り出し、逆運動学解析処理部46にて、仮想機械22の機構データ格納部32に格納されている機構データをもとに、仮想機械22の各構成要素の関節変数の値を求める。次いで、それにより空間上での各仮想機械22を構成する3次元形状の位置・姿勢データを生成し、それを位置・姿勢データ格納部33に格納する。なお、この実施の形態1においては、仮想機械22の位置・姿勢デー

タを通信処理部35を介さずに入力するものを示した
が、通信処理部35を介しても同様に行える。

【0032】また、仮想機械22のタスクにおいては、
位置・姿勢データ格納部33に格納された位置・姿勢デ
ータから各構成部品の3次元形状の位置・姿勢データを
更新し、3次元形状データ格納部34へ格納する。

【0033】さらに、システムに関するタスクにおいて
は、干渉チェック処理部16で、まず仮想機械22の形
状と他の形状が干渉するかどうかのチェックを行う。そ
の結果、干渉する場合にはシミュレーション実行データ
格納部15へ、干渉する仮想機器シミュレータ21に関
する情報を格納する処理を行う。そのとき、シミュレー
ション時間管理処理部17では、登録されたサンプリ
ングタイムだけシミュレーション内の時間を進める処理を
行い、3次元形状表示処理部18では、3次元形状デー
タ格納部34に格納されたデータに基づいて仮想機器シ
ミュレータ21の表示処理を行う。

【0034】なお、上記仮想コントローラ23のコマ
ンド処理においては、移動コマンド以外でも、時間の経過
を伴うコマンドの場合には上記移動コマンドと同様の処
理を行う。各コマンド毎に必要な情報を動作データ格納
部43に格納して、コマンド処理よりも優先してそれら
のデータ処理を行う。例えば、待ちコマンドもその例で
あり、指定された待ち時間に対して、1実行周期ごとに
シミュレーション実行データ格納部15に格納されたサ
ンプリングタイム分だけ減算して、動作データ格納部4
3上のデータの更新処理を行う。

【0035】上記仮想工場システム11において、仮想
機器シミュレータ21が取り扱うワークについても、仮
想機器シミュレータ21の仮想機械22の部分だけを用
いて形状を表現することで統一的に表現できる。同様
に、構造物等の形状のみの静止物も仮想機器シミュレ
ータ21として表現することも可能である。

【0036】また、機構構造を持たない電子デバイスで
ある、物体の有無を検知するようなセンサーについて
も、仮想機器シミュレータ21の仮想コントローラ23
で信号処理を行って、仮想機械22でセンサー形状を表
現することで統一的に表現することができる。特にセン
サーのうち、物体の有無を、接触により検知するセンサ
ーやレーザ、赤外線等の反射もしくは遮断による検知と
いったようにセンシング領域が定義可能なセンサーにお
いて、接触センサーの場合は、センサー形状と被検知物
体との干渉チェック、またセンシング領域が定義可能な
センサーの場合は、センシング領域を3次元形状で表現
し、そのセンシング領域の形状と被検知物体の形状との
干渉チェックといったように、3次元形状の干渉チェッ
クによりセンサーの検知機能を模擬することができる。

【0037】次に、上記ようなセンサーのセンシング機
能について説明する。図4はこの実施の形態1における
仮想センサーの一例を示す説明図である。図において、

51はセンサーとしての赤外線センサー（センサー）で
あり、51Aは物体を検知するための赤外線を発信する
赤外線発信部、51Bは赤外線発信部51Aより発信さ
れた赤外線を受信する赤外線受信部、51Cは赤外線発
信部51Aと赤外線受信部51Bの間で授受される赤外
線にて形成される、当該赤外線センサー51のセンシ
ング領域である。また、52はこの赤外線センサー51に
て検知される被検知物体としてのワークであり、53は
その上に配置されたワーク52の移送を行うコンベアで
ある。

【0038】次に、この図4に示すように、コンベア5
3にて移送されるワーク52の検出について説明する。
まず、赤外線発信部51Aと赤外線受信部51B、およ
び赤外線によるセンシング領域51Cを仮想機械22の
形状として登録する。次に、干渉チェック処理部16に
おいて、赤外線によるセンシング領域51Cと干渉する
物体をチェックする。干渉する物体が存在した場合、シ
ミュレーション実行データ格納部15に赤外線センサ
ー51とワーク52に関するデータを格納する。仮想コン
トローラ23は、シミュレーション実行データ格納部1
5に格納された干渉チェックの結果から、ワーク52が
赤外線センサー51のセンシング領域51Cに入ったか
どうかを判断する。

【0039】このようにセンシング領域51Cを3次元
形状で表現し、3次元形状の干渉でチェックを行うこと
によってセンサー機能を実現する。また、干渉チェッ
クにおいては、チェック処理を高速化するために、ユーザ
からの入力によりチェックする対象を登録して、シミュ
レーション実行データ格納部15へ登録しておく方法も
ある。

【0040】次に、仮想機器シミュレータ21における
仮想機器によるワーク52のハンドリングについて説明
する。ここで、図5および図6はこの実施の形態1にお
けるワーク52の把持を、ロボットハンドを例に示す説
明図である。図において、61はワーク52をハンドリ
ングする仮想機器としてのロボットハンドであり、61
A、61Bは当該ロボットハンド61の爪である。62
はこのロボットハンド61に取り付けられた座標系であ
り、63はワーク52に取り付けられた座標系である。

【0041】次に、仮想機器シミュレータ21によるワ
ーク52のハンドリングについて、この図5、6に示し
たロボットハンド61を例に説明する。仮想コントロー
ラ23でロボットハンド61のクローズコマンドが実行
された場合、コマンド処理時に干渉チェック処理部16
を用いて、ロボットハンド61の爪61A、61Bと接
触している形状を検出する。ここで、図6に示すよう
に、ワーク52が爪61Aと爪61Bとに接触している
場合、ロボットハンド61はワーク52を把持してるも
のと判断して、ロボットハンド61とワーク52間に親
子関係データを生成し、その親子関係データを3次元形

状データ格納部34に格納する。

【0042】親子関係は、ロボットハンド61がワーク52を把持したと判断した場合、ワーク52に取り付けられた座標系63の、ロボットハンド61に取り付けられた座標系62に対する変換マトリックスなどによる相対位置・姿勢データを、ワーク52と、ロボットハンド61の座標系62とに関連付けて、3次元形状データ格納部34に格納する。シミュレーション実行中にロボットハンド61が移動した場合には、ワーク52は3次元形状データ格納部34に格納された相対位置・姿勢データとロボットハンド61の座標系62をもとに、その位置・姿勢データを更新する。これより、ワーク52はロボットハンド61に位置・姿勢の変更が発生した場合、ロボットハンド61と同様にワーク52の位置・姿勢も同一の移動処理を行う。

【0043】次に、このような仮想工場シミュレーション装置をセルに適用した場合について、PDP(Plasma Display Panel)蒸着装置用の移送セルを例に説明する。図7はPDP蒸着装置用の移送セルのレイアウトを示す説明図である。図において、71(図示の場合には、71A、71B)は蒸着処理が行われるもしくは行われたガラス基板のパネルであり、72(図示の場合には、72A、72B、72C)はパネル71を格納するカセットである。73はカセット72を配置するカセットステーションであり、74はパネル71に対して蒸着処理を行うプロセス装置、75はパネル71をプロセス装置74の内部へ挿入するためのキャリアである。76はカセット72から取り出したパネル71の位置・姿勢を調整する供給回転位置決め台であり、77はキャリア75から取り出したパネル71の位置・姿勢を調整する取り出し回転位置決め台である。78はカセット72と、供給回転位置決め台76もしくは取り出し回転位置決め台77との間でパネル71を搬送するロボットGであり、79はキャリア75と、供給回転位置決め台76もしくは取り出し回転位置決め台77間でパネル71を搬送するロボットRである。

【0044】この移送セルはパネル71に対して蒸着処理を行うものであり、以下にこの移送セルにおける作業の流れについて説明する。まず、システムの初期状態について説明する。

- ・ カセットステーション73には、未処理パネル71が満タンに格納された2個のカセット72B、72Cと、処理済パネル71を格納するための1個の空カセット72Aがある。

- ・ プロセス装置74のキャリア75には処理を終えた2枚のパネル71Aおよび71Bがあり、取り出しを待っている。

- ・ ロボットG78、ロボットR79、供給回転位置決め台76、取り出し回転位置決め台77は初期姿勢であり、それらにはパネル71はない。

【0045】次に、パネル71をプロセス装置74からカセット72Aへ移送する場合について説明する。

(手順1)取り出し回転位置決め台77は、パネル71が搭載されていないことと、ロボットG78が干渉外にあることを確認して、パネル71を受け取る準備として90度回転する。

(手順2)ロボットR79はプロセス装置74のキャリア75からパネル71を1枚取り出し、取り出し回転位置決め台77の準備ができていることを確認して、取り出し回転位置決め台77の上へ取り出したパネル71を移送する。

(手順3)取り出し回転位置決め台77はパネル71が置かれたことを確認して初期姿勢に戻る。

(手順4)ロボットG78は、取り出し回転位置決め台77が準備できることを確認して、取り出し回転位置決め台77からパネル71を取り出し、取り出したパネル71を移送して、それを処理済パネル71を格納するためのカセット72Aの中へ格納する。

【0046】次に、パネル71をカセット72Bからプロセス装置74へ移送する場合について説明する。

(手順5)供給回転位置決め台76はカセット72Bからパネル71を受け取るための準備として初期姿勢になる。ロボットG78は供給回転位置決め台76の準備ができたことを確認した後、未処理パネル71が格納されているカセット72Bからパネル71を1枚取り出して、それを供給回転位置決め台76へ移送しておく。

(手順6)供給回転位置決め台76はパネル71が置かれたことを確認して90度回転する。

(手順7)ロボットR79は、供給回転位置決め台76が90度回転したことと、プロセス装置74のパネル71の受け取りの準備ができたことを確認し、供給回転位置決め台76からパネル71を取り出してキャリア75に置く。

(手順8)プロセス装置74はキャリア75へ未処理パネル71が2枚置かれたことを確認してキャリア75を引き込む。プロセス装置74では2枚のパネル71を1つのキャリア75にのせて処理しており、ロボットR79は処理済パネルの取り出しと未処理パネル71の供給を行うが、取り出しと供給が同時に可能な場合には取り出しを優先する。

【0047】また、未処理パネル71が格納されたカセット72Bが空になると、処理済パネル71を格納するためのカセット72へ変更される。処理済パネル71が格納されるカセット72Aが一杯になったら、AGV(自動搬送車)などによりアンロードされ、未処理パネル71が格納されたカセット72と交換される。

【0048】次に図8を用いて、仮想機器シミュレータ21の機構データについて上記ロボットR79を例にして説明する。ここで、図8はロボットR79の機構構造の一例を示す説明図である。なお、この機構構造とは、

各構成部品に取り付けられた座標系（ここではフレームと呼ぶ）の間の相対位置関係と運動を定義したデータのことである。この図8に示すように、仮想機械22は複数の構成部品（ここではリンクと呼ぶ）から構成されており、各リンク（リンク0～リンク5）は直動もしくは回転関節（関節1～関節5）によってシリアルに接続されており、それぞれにフレーム（フレーム0～フレーム5）が設定してある。

【0049】ここで、接続されている2リンク間において、そのフレーム間の関係を、ロボットで使用されている Denavit-Hartenberg 表記法によるパラメータにより定義する。なお、この Denavit-Hartenberg 表記法は、例えば「ロボティクス」(John J. Craig 著、三浦宏文・下山勲 翻訳、共立出版、1991) などによって周知のものである。フレーム間に存在する関節の運動は、回転関節、直動関節もしくはそれらの組み合わせにより表現できる。図8に示したロボットR79の、Denavit-Hartenberg 表記法によるパラメータデータを図9に、関節運動のタイプを図10にそれぞれ示す。

【0050】この仮想機器シミュレータ21における配置情報、構成部品の構成情報、形状情報、さらには上述の機構データ等を表わす仮想機器構成データの構成を、上記図8に示したロボットR79について例示したものを図11に示す。また、図12にはこの図11に示したこれら各種データの各パラメータの意味を示す。なお、この図には、後述する実施の形態3にのみ関連し、この実施の形態1には関係のない内容についても含まれている。

【0051】また、この実施の形態1における仮想機器シミュレータ21は、自分自身の状態データを仮想コントローラ23の動作データ格納部43に保持している。したがって、外部システム12から仮想機器シミュレータ21を制御する場合、上記作業の流れで述べた、供給回転位置決め台76、取り出し回転位置決め台77やキャリア75にパネル71が乗っているかどうか、ロボットG78、ロボットR79、供給回転位置決め台76、取り出し回転位置決め台77が動いているか止まっているか、供給回転位置決め台76、取り出し回転位置決め台77が初期状態か90度回転した状態かといった状態データを、外部システム12は通信処理部13を介して、仮想機器シミュレータ21の仮想コントローラ23に対して問い合わせることができる。これにより、外部システム12は、仮想機器シミュレータ21に対する次の制御命令を決定する。なお、各仮想機器シミュレータ21が持つ状態の例を図13に示す。

【0052】次に、図14に示す動作プログラムをロボットR79で実行させる場合について、図15を用いて説明する。図15はこの実施の形態1におけるシミュレーション実行を示す説明図であり、相当部分には図1～

図3と同一の符号を付してその説明を省略する。図において、81は仮想工場カーネル20のシミュレーション実行データ格納部15内に用意されたユーザタスクキューであり、仮想機械22の実行処理部31、あるいは仮想コントローラ23の実行処理部42で処理されるユーザタスクが格納される。82は同様のシステムタスクキューであり、システムタスクが格納される。

【0053】図14に示した動作プログラムは、プログラムの最初と最後にあるSET_STATEコマンドを除いて、実機で使用している動作プログラムと同じプログラムである。まず、必要な仮想機器シミュレータ21が作成されると、仮想工場カーネル20のシミュレーション実行データ格納部15に、該当する仮想機器シミュレータ21を呼び出すためのIDデータが登録される。シミュレーション実行時においては、外部システム12からの実行すべき仮想機器のIDデータ、プログラム名等を含むメッセージが、仮想工場カーネル20の通信処理部13を介して入力される。

【0054】通信処理部13では入力されたメッセージを解析し、シミュレーション実行データ格納部15に格納されたIDデータをもとに、該当する仮想機器シミュレータ21の仮想コントローラ23を呼び出し、その通信処理部41に実行プログラム名等を含むメッセージの入力を行う。この場合は、仮想コントローラ23へのメッセージは、例えば“EXEC MoveOutStage”である。仮想コントローラ23の通信処理部41は、入力されたメッセージをコマンド解析処理部44へ渡し、コマンド解析処理部44はメッセージの解析結果を実行処理部42へ渡す。実行処理部42では、図14に示す実行すべきプログラム“MoveOutStage”を外外部ファイルから読み出し、その内容のコマンドリストを動作データ格納部43へ格納する。

【0055】また、仮想コントローラ23は自分自身のタスクを呼び出すためと、仮想機器シミュレータ21の生成時に動作データ格納部43に登録された、対応する仮想機械22のタスクを呼び出すための各IDデータ等の識別データを、仮想工場カーネル20内のシミュレーション実行データ格納部15に用意されたユーザタスクキュー81に登録する。なお、このユーザタスクキュー81への登録順序は、1つの仮想機器シミュレータ21については、仮想コントローラ23が先、仮想機械22が後となる。このユーザタスクキュー81への登録は、複数の仮想機器シミュレータ21に対して行うことができ、それによって複数の仮想機器シミュレータ21によるシミュレーションを実行することができる。

【0056】一方、シミュレーション実行データ格納部15に用意されたシステムタスクキュー82には、仮想工場カーネル20内の干渉チェック処理部16による干渉チェックタスク、シミュレーション時間管理処理部17による時間管理タスク、および3次元形状表示処理部

10

20

30

40

50

18による3次元表示タスクの各システムタスクが登録されている。

【0057】次に、仮想コントローラ23の動作データ格納部43に登録された実行プログラムの実行について説明する。仮想工場カーネル20の実行処理部14はシミュレーションが実行されると、まずシミュレーション実行データ格納部15内のユーザタスクキュー81に登録されたタスクを逐次実行する。このユーザタスクキュー81に登録されているユーザタスクの実行がすべて終了すると、次にシミュレーション実行データ格納部15

内のシステムタスクキュー82に登録されているシステムタスクを実行して、シミュレーション時間、表示などの変更を行う。ここまでで、シミュレーション内のある時間で実行が終了する。

【0058】ここで、ユーザタスクキュー81に登録された仮想機器シミュレータ21に関するタスクの実行について説明する。ユーザタスクキュー81に登録されたユーザタスクを呼び出すために、シミュレーション実行データ格納部15に登録されたIDデータをもとに仮想

コントローラ23の実行処理部42が呼び出される。仮想コントローラ23の実行処理部42は、動作データ格納部43に補間点列データが格納されていないかどうかを確認し、格納されていない場合は、動作データ格納部43に登録されているコマンドリストからコマンドを取り出し、取り出したコマンドをコマンド解析処理部44で処理する。

【0059】この場合、まずコマンド“SET_STATE Moving 1”が呼び出される。これはシミュレーション専用のコマンドであり、時間経過に関係ないので、その処理の終了後、次のコマンドが呼び出され、続けて処理される。次のコマンド“MP 77, 0, 45, 0, 160, 0, 90, 90, 180”は移動コマンドであるので、軌跡補間処理部45において動作データ格納部43に登録された加減速パターンをもとに補間点列データを生成し、それを動作データ格納部43に格納する。

【0060】次に再度、動作データ格納部43の補間点列データをチェックする。この場合には、補間点列データが存在するので、点データを取り出し、仮想機械22の機構データ格納部32に格納された機構データをもとに、逆運動学解析処理部46で仮想機械22の各構成要素の関節変数の値を求め、各構成部品形状の空間上での位置・姿勢データを生成する。仮想コントローラ23は、このようにして生成された仮想機械22の各構成部品の位置・姿勢データを、仮想機械22の位置・姿勢データ格納部33に格納する。

【0061】以後、仮想コントローラ23においては、実行処理部42が呼び出されると、補間点列データがなくなるまで上記点列の処理のみを行う。補間点列データがなくなると動作データ格納部43より次のコマンドを

取り出して処理する。

【0062】仮想コントローラ23に関する処理が終わると、次に仮想機械22のタスクを処理する。この仮想機械22のタスクの処理も、上記仮想コントローラ23に関する処理の場合と同様に、まず登録された仮想機械22の実行処理部31を呼び出す。次いで位置・姿勢データ格納部33の情報をもとに、3次元形状データ格納部34に格納されている各構成部品形状の位置・姿勢データを更新する。

10 【0063】このようにして、ユーザタスクキュー81に登録されているユーザタスクの実行により、仮想コントローラ23に関する処理、および仮想機械22に関する処理が終了すると、シミュレーション実行データ格納部15内のシステムタスクキュー82に登録されているシステムタスクを実行して、システムに関する処理を実行する。すなわち、干渉チェックタスクにおいて、干渉チェック処理部16で仮想機械22の形状と他の形状が干渉するかどうかをチェックし、干渉する場合には干渉する仮想機器シミュレータ21に関する情報をシミュレーション実行データ格納部15へ格納する。そのとき時間管理タスクにおいて、シミュレーション内の時間を登録されたサンプリングタイムだけ、シミュレーション時間管理処理部17で進めた後、表示タスクにおいて、3次元形状表示処理部18で3次元形状データ格納部34に格納されたデータに基づく仮想機器シミュレータ21の表示処理を行う。

20 【0064】このようにして、仮想機器シミュレータ21が動作プログラムを実行し、3次元形状表示が更新されることで、シミュレーションが進行する。なお、他の種類の仮想機器シミュレータ21の動作も同様にして行われる。

30 【0065】次に、上記処理動作のうち、移動コマンドから補間点列データを作成する方法の一例について説明する。ここで、図16および図17は軌跡補間生成方法の一例を示す説明図であり、並進運動と回転運動の並進速度または角速度の時間変化を示している。まず、並進運動と回転運動毎に、仮想コントローラ23の動作データ格納部43に格納された、ロボットの手先の最大加速度、最大速度、最大角速度、最大角加速度より、図16に示す加減速パターンを用いて、各並進・回転運動に必要な時間を計算する。この場合、並進速度・角速度が上記最大速度・角速度に達していれば、図16(a)に示す台形加減速パターンが用いられ、最大速度・角速度に達しない場合には、図16(b)に示す三角加減速パターンが用いられる。

40 【0066】次に、並進運動と回転運動のうち、移動時間の長いものを補間点列データを作成するための移動時間として使用する。このことによって移動時間が延びた側の運動に対しては、変更された移動時間に合わせて、例えば図17に破線で示すように台形パターンを修正す

る。それら各台形パターンに基づいて、各サンプリング周期毎の位置・姿勢データを計算し、補間点列データを作成する。ここで、回転運動の場合は、1軸回転である等価回転角を用いている。

【0067】次に、ワークのハンドリングについて説明する。この実施の形態1の場合、図11に示した仮想機器構成データ中の属性“_COLLISION”の設定値により、仮想機器シミュレータ21の生成時に干渉チェックの対象になるかどうかを、シミュレーション実行データ格納部15へ登録することができる。干渉チェックはこのシミュレーション実行データ格納部15への登録データをもとに行う。これによって、総当たりの干渉チェックを回避し、実行性能の向上を図っている。

【0068】すなわち、図7に示すPDP蒸着装置用の移送セルにおいて、ロボットR79がキャリア75上のパネル71を掴む場合、ロボットR79のパネル71の把持位置まで移動し、仮想コントローラ23にパネル71の把持命令が入力される。このとき、仮想コントローラ23の実行処理部42は、干渉チェック処理部16を呼び出して干渉チェックをさせる。干渉チェック処理部16は、チェック対象の登録データを基に干渉チェックを行い、この干渉チェックの結果をシミュレーション実行データ格納部15へ登録する。その後、実行処理部42はこのシミュレーション実行データ格納部15に登録された干渉チェックの結果をもとに、把持するパネル71を見つけだす。

【0069】次に、ロボットR79のパネル71と干渉しているハンドのフレーム座標に対する、パネル71のフレーム座標に対する変換マトリックスデータと、ハンドのフレーム座標へのリンクデータを、当該パネル71に対応する3次元形状データ格納部34へ格納する。パネル71の位置・姿勢データが更新される場合、上記ハンドのフレーム座標と変換マトリックスをもとに3次元位置・姿勢データを計算することにより、ロボットR79のハンドとパネル71の相対位置関係を保持し、親子関係を実現する。

【0070】以上のように、この実施の形態1によれば、コントローラ部分と機械部分の組み合わせに変更があっても、実際の機器と同様にモデルチェンジを行うことが容易となり、実際のコントローラと仮想機械、もしくは仮想コントローラと実際の機械といった混合シミュレーションシステムを構築することが容易になり、また、能動的に動作する機器と受動的に動作する機器や構造的動作を伴わない電子デバイス機器についても同一の方法でモデル化できて、仮想機器として統一構成・管理が可能となり、さらには、システム開発者が本来の機器動作の定義作業だけでよく、機器動作の定義を間違った場合のワークの動作チェックが容易に行えるなどの効果が得られる。

【0071】実施の形態2. 図18はこの発明の実施の

形態2による仮想工場シミュレーション装置における仮想工場単位オブジェクトを示す構成図である。図において、91は上記実施の形態1における仮想機器シミュレータ21に代替して配置された仮想工場単位オブジェクトである。この仮想工場単位オブジェクト91内において、92は外部システム12もしくは他の仮想工場単位オブジェクト91との通信を行う通信要素であり、93は仮想工場単位オブジェクト91の動作データの生成処理や信号処理等のデータ処理を行う挙動要素、94は仮想工場単位オブジェクト91の3次元形状を管理する形状要素、95は仮想工場単位オブジェクト91の属性情報を管理する属性要素である。

【0072】また、91Aは当該仮想工場単位オブジェクト91内におけるデータの処理を制御するデータ処理部であり、91Bは上記通信要素92、挙動要素93、形状要素94、属性要素95へのリンクデータや、親の仮想工場単位オブジェクト91へのリンクデータといった親子、兄弟等のオブジェクト間の関係データが格納される。この仮想工場単位オブジェクト91のデータ格納部である。なお、上記通信要素92、挙動要素93、形状要素94、属性要素95のそれぞれも、個別にデータ処理部とデータ格納部を備えている。

【0073】この図18に示すように、仮想工場単位オブジェクト91は、通信要素92によって外部システム12もしくは他の仮想工場単位オブジェクト91と通信し、挙動要素93で動作データの生成処理や信号処理等のデータ処理を、形状要素94で3次元形状の管理を、属性要素95で仮想工場単位オブジェクト91の属性情報の管理をそれぞれ行う。また、データ格納部91Bに上記各リンクデータや関係データを格納することで、複数の仮想工場単位オブジェクト91の間で階層関係を構成することができる。なお、ここでは、これら通信要素92、挙動要素93、形状要素94、属性要素95の各要素をオブジェクトで実現するので、以下、それらを通信オブジェクト92、挙動オブジェクト93、形状オブジェクト94、属性オブジェクト95と呼び、この4つオブジェクト92～95を総称して機能オブジェクトと呼ぶ。

【0074】前述のように、この実施の形態2においては、実施の形態1における各仮想機器シミュレータ21を上記仮想工場単位オブジェクト91にそれぞれ変更したものである。したがって、仮想工場単位オブジェクト91および機能オブジェクトは、その用途に応じて派生させたオブジェクトを生成することを可能とし、通常、各用途により派生されたオブジェクトを使用する。例えば、ロボットの場合、仮想機器シミュレータ21、仮想コントローラ23、仮想機械22、仮想機械22を構成する構成部品である仮想部品（リンクおよびハンド）といったように機能によって分類することができ、これらを仮想工場単位オブジェクト91の派生オブジェクトと

して生成する。

【0075】このような仮想機器の仮想工場単位オブジェクト91による構成例を図19に示す。なお、図中の黒丸に実線はオブジェクトの保有を表現し、黒丸に破線はオブジェクトの参照を表現している。図において、101は仮想機器シミュレータ21に対応する仮想機器オブジェクトであり、102は仮想コントローラ23に対応する、上記仮想機器オブジェクト101が保有する仮想コントローラオブジェクト、103は仮想機械22に対応する、上記仮想機器オブジェクト101が保有する仮想機械オブジェクトである。104は仮想機械オブジェクト103の保有するリンクオブジェクトであり、104Aはリンク0オブジェクト、104Bはリンク1オブジェクト、104Cはリンク2オブジェクト、・・・、104Gはリンク6オブジェクトである。105は同様に仮想機械オブジェクト103の保有するハンドオブジェクトである。

【0076】また、106は仮想コントローラオブジェクト102の保有する通信オブジェクト、107は同じく仮想コントローラオブジェクト102の保有する挙動オブジェクトであり、108は仮想機械オブジェクト103の保有する挙動オブジェクトである。なお、仮想コントローラオブジェクト102の保有する挙動オブジェクト107は、リンク0オブジェクト104A、リンク1オブジェクト104B、・・・、リンク6オブジェクト104G、およびハンドオブジェクト105の参照が可能となっている。109はリンクオブジェクト104の保有する通信オブジェクト、110はリンクオブジェクト104の保有する挙動オブジェクトであり、111はリンクオブジェクト104の保有する形状オブジェクトである。112はハンドオブジェクト105の保有する通信オブジェクト、113はハンドオブジェクト105の保有する挙動オブジェクトであり、114はハンドオブジェクト105の保有する形状オブジェクトである。

【0077】このように、例えば、仮想機器シミュレータ21に対応する仮想機器オブジェクト101は、仮想コントローラ23に対応する仮想コントローラオブジェクト102と仮想機械22に対応する仮想機械オブジェクト103、仮想機械オブジェクト103はリンク0オブジェクト104A～リンク6オブジェクト104Gおよびハンドオブジェクト105といった仮想部品からなり、それぞれ階層構造を構成している。

【0078】この例では、仮想工場単位オブジェクト91が、図18に示す4つすべての機能オブジェクトを保有してはいないが、これらは各機能オブジェクトの必要性に応じて保持すればよい。また、仮想コントローラオブジェクト102は、制御対象であるリンク0オブジェクト104A～リンク6オブジェクト104Gやハンドオブジェクト105へのリンクデータを格納することに

より、実施の形態1における仮想機器シミュレータ21の仮想機械22を構成する仮想部品を直接的に操作してもよい。また、リンクオブジェクト104の保有する通信オブジェクト109、あるいはハンドオブジェクト105の保有する通信オブジェクト112を介して間接的に操作してもよい。

【0079】仮想機器シミュレータ21は、図19に示すもの以外にも、例えば図20に示すもののような簡易な表現でもモデル化することが可能である。図20

(a)に示す例は、仮想機器オブジェクトに通信オブジェクト、挙動オブジェクト、および形状オブジェクトを保有させたものであり、図20(b)に示す例は、仮想機器オブジェクトに仮想コントローラオブジェクトと仮想機械オブジェクトを保有させ、その仮想コントローラオブジェクトに通信オブジェクトと挙動オブジェクトを、仮想機械オブジェクトに挙動オブジェクトと形状オブジェクトをそれぞれ保有させたものである。モデルの詳細度を変更するような場合、適宜オブジェクトを追加していくだけであるので、詳細化が容易である。

【0080】次に、図19に示した仮想コントローラ23の挙動オブジェクト107の構成例を図21に示す。ここで、図3に示した仮想コントローラ23の通信処理部41は、図19に示す通信オブジェクト106で置き換えられる。なお、仮想コントローラ23の実行処理部42、コマンド解析処理部44、軌跡補間処理部45、逆運動学解析処理部46、および動作データ格納部43は、図21に示すように挙動オブジェクト107の中で実現する。

【0081】また、図22には、図19に示した仮想機械22を構成するリンクやハンド等の構成部品の挙動オブジェクト110あるいは113の構成例を示す。図22に示すように、仮想機械22のリンクの場合、実行処理部31、機構データ格納部32、および位置・姿勢データ格納部33は挙動オブジェクト110で実現し、3次元形状データ格納部34は形状オブジェクト111で実現する。なお、ハンドの場合も同様にして構成する。

【0082】なお、上記説明においては、実施の形態1における仮想機器シミュレータ21を仮想工場単位オブジェクト91で代替したものについて説明したが、この仮想機器シミュレータ21と仮想工場単位オブジェクト91とを併用してもよいことはいうまでもない。

【0083】以上のように、この実施の形態2によれば、システム規模が大きければシステムを構成する機器のモデルを簡素化し、システム規模が小さければ詳細モデルを使用するといったことが可能となり、また、初期段階では概略モデルによるシステム評価を行い、内容が決定するにしたがってモデルを詳細化して検討を行うようなシステムでのモデル構成が容易になるなどの効果が得られる。

【0084】実施の形態3、図23はこの発明の実施の

形態3による仮想工場シミュレーション装置を示すブロック図であり、相当部分には図1と同一符号を付してその説明を省略する。図において、121は仮想機器シミュレータ21の、基準位置・姿勢データ格納部としての位置・姿勢データ格納部33に格納されている、設置基準点等の位置・姿勢データである基準位置・姿勢データより、仮想機器の基準位置間関係を作業変数として定義する作業変数定義部である。122はこの作業変数定義部121にて定義された作業変数の情報を格納する作業変数情報格納部であり、123はその作業変数を実際の有効な値へ変換する作業変数変換部、すなわちその作業変数を用いて定義された動作プログラムを実際のプログラムに変換するプログラム変換処理部である。この実施の形態3は、これら作業変数定義部121、作業変数情報格納部122、およびプログラム変換処理部123を追加している点で、上記実施の形態1の仮想工場シミュレーション装置とは異なっている。

【0085】また、図24および図25は、この実施の形態3における作業変数によるプログラミングの実行を示す説明図である。図において、52はワークであり、131はこのワーク52が移送される回転位置決め台、132はこの回転位置決め台131の基準位置である。133はワーク52を回転位置決め台131に移送するロボットであり、134はこのロボット133の基準位置である。

【0086】図24において、ロボット133が回転位置決め台131へワーク52を移送する場合、回転位置決め台131の基準位置132のロボット133の基準位置134に対する相対位置を、作業変数Xとして作業変数定義部121によって定義し、定義された作業変数Xと、回転位置決め台131およびロボット133との関係を作業変数情報格納部122に登録する。この実施の形態3の場合、回転位置決め台131の基準位置132とロボット133の基準位置134は、仮想機器シミュレータ21のベースの座標原点と一致するものとする。

【0087】ここで、ロボット133の位置決め台131上のワーク52への移動プログラムを“MOVE X”のように記述しているものとする。仮想コントローラ23は、コマンド処理実行時に作業変数を検出すると、実行処理部14を介してプログラム変換処理部123へそのコマンドを渡す。当該コマンドを受け取ったプログラム変換処理部123では、検出された作業変数を作業変数情報格納部122に格納された情報をもとに、各仮想機器シミュレータ21が位置・姿勢データ格納部33へ格納している基準位置情報を問い合わせ、作業変数の実際の値を計算する。これにより作業変数を有効な値に変換したコマンドを、仮想コントローラ23へ返す。仮想コントローラ23はこの変換後のコマンドを実行する。また、上記“MOVE X”は、“MOVE

X+50”のように作業変数を含む式でも良い。

【0088】これにより、図25に示すように回転位置決め台131が移動しても、ユーザとしてはプログラム変更なしに正しいプログラムを実行することができる。また、プログラム変換処理部123を用いてオフラインにより、作業変数を用いて定義されたプログラムを通常のプログラムへ変換する処理も可能である。

【0089】このように、この実施の形態3によれば、設計段階で起こるレイアウト変更に対して容易に対応することが可能となり、また、最終プログラムへの変換作業も容易に行えるなどの効果が得られる。

【0090】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、仮想機器を実際の機器構成と同一構成でモデル化し、その機器モデルを、仮想コントローラと仮想機械に分離して構成しているので、コントローラ部分と機械部分の組み合わせ変更があった場合でも、仮想コントローラと仮想機械を組み替えることにより、実際の機器と同様にモデルチェンジを容易に行うことが可能となり、また、実際のコントローラと仮想機械、もしくは仮想コントローラと実際の機械といった混合シミュレーションシステムを容易に構築できるなどの効果がある。

【0091】この発明によれば、仮想機器シミュレータを、コマンド解析処理部、軌跡補間処理部、逆運動学解析処理部、通信処理部、および動作データ格納部を有する仮想コントローラと、3次元形状データ格納部、位置・姿勢データ格納部、機構データ格納部、および実行処理部を有する仮想機械とで形成し、移動コマンド入力に対して、加減速パターン等の動作データをもとに移動軌跡補間を行うように構成したので、仮想機械の移動位置・姿勢データを移動軌跡補間によって得られた補間点列データから容易に生成できる効果がある。

【0092】この発明によれば、仮想機器とそれが扱うワークとを同一の構造で表現するように構成したので、仮想機器とワークとを同一の方法でモデル化することができ、それらを統一して管理することが可能になる効果がある。

【0093】この発明によれば、センサーのセンシング領域を3次元形状で表現してセンサーを仮想機械と同一の構造で表現するように構成したので、機構構造を持たない電子デバイスであるセンサーについても、仮想機械と同一の方法でモデル化することができ、それらを統一して管理することが可能になる効果がある。

【0094】この発明によれば、仮想機器がワークを保持したか否かを判定してその親子関係を定義し、当該親子関係が定義された区間でワークと仮想機器と一緒に動くことにより、当該ワークの搬送シミュレーションを実行するように構成したので、仮想機器の動作プログラムを定義するとワークの動作も同時に定義されるため、ワークの動作を別途定義しなくともワークのシミュレーション

ョンを実行することができて、システム開発者は本来の機器動作の定義作業だけを行えばよくなり、機器動作の定義を間違った場合でも、ワークの動作がおかしくなることによりワークの動作チェックが容易に行えるなどの効果がある。

【0095】この発明によれば、通信処理部、仮想機械の形状、仮想コントローラおよび仮想機械の挙動、仮想機器の属性を仮想工場単位オブジェクトとして表現してその階層関係を管理するように構成したので、仮想機器を構成する仮想コントローラおよび仮想機械を統一的に表現することができ、さらに、システム規模が大きくなれば、システムを構成する機器のモデルを簡素化し、システム規模が小さくなれば詳細モデルを使用するといったことが可能となり、また、設計段階でのシステム検討において、初期段階では概略モデルによるシステム評価を行い、内容が決定するにしたがってモデルを詳細化するようにして検討を行うといったシステムでのモデル構成を容易化できるなどの効果がある。

【0096】この発明によれば、仮想機器の基準位置・姿勢データを定義して格納し、仮想機器の基準位置間の関係を作業変数として定義して、その作業変数を実際の有効な値に変換したコマンドを仮想コントローラで実行するように構成したので、ワークを乗せた仮想機器とワークの移送操作を行う仮想機器の位置関係を変更しても、ユーザによるプログラムの変更なしにシミュレーションを実行することができるため、設計段階で起こるレイアウト変更に対して容易に対応でき、また、最終プログラムへの変換作業も容易に行えるなどの効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による仮想工場シミュレーション装置の概略構成を示すブロック図である。

【図2】 上記実施の形態1における仮想機械の構成例を示すブロック図である。

【図3】 上記実施の形態1における仮想コントローラの構成例を示すブロック図である。

【図4】 上記実施の形態1における仮想センサーの一例を示す説明図である。

【図5】 上記実施の形態1におけるワークの把持を示す説明図である。

【図6】 上記実施の形態1におけるワークの把持を示す説明図である。

【図7】 上記実施の形態1におけるPDP蒸着装置用の移送セルのレイアウトを示す説明図である。

【図8】 上記実施の形態1におけるロボットの機構構成を示す説明図である。

【図9】 上記図8に示したロボットのDenavit-Hartenberg表記法によるパラメータ値を示す説明図である。

【図10】 上記図8に示したロボットの関節タイプを示す説明図である。

【図11】 上記図8に示したロボットの仮想機器構成データの一例を示す説明図である。

【図12】 上記実施の形態1における仮想機器の構成情報の項目を示す説明図である。

【図13】 上記実施の形態1における仮想機器シミュレータの状態を示す説明図である。

【図14】 上記実施の形態1における仮想機器の動作プログラムの一例を示す説明図である。

【図15】 上記実施の形態1におけるシミュレーション実行を示す説明図である。

【図16】 上記実施の形態1における軌跡補間生成方法の一例を示す説明図である。

【図17】 上記実施の形態1における軌跡補間生成方法の一例を示す説明図である。

【図18】 この発明の実施の形態2による仮想工場シミュレーション装置における仮想工場単位オブジェクトを示す構成図である。

【図19】 上記実施の形態2における仮想機器の仮想工場単位オブジェクトによる構成例を示す説明図である。

【図20】 上記実施の形態2における仮想機器の仮想工場単位オブジェクトによる構成例を示す説明図である。

【図21】 上記実施の形態2における仮想コントローラの挙動オブジェクトの構成例を示す構成図である。

【図22】 上記実施の形態2における仮想機械の仮想部品の挙動オブジェクトの構成例を示す構成図である。

【図23】 この発明の実施の形態3による仮想工場シミュレーション装置の概略構成を示すブロック図である。

【図24】 上記実施の形態3における作業変数によるプログラミング実行を示す説明図である。

【図25】 上記実施の形態3における作業変数によるプログラミング実行を示す説明図である。

【図26】 従来のシミュレーションシステムの概略構成を示すブロック図である。

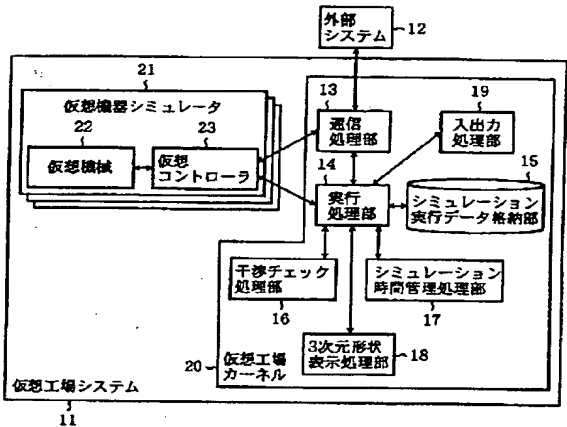
【符号の説明】

12 外部システム、13、41 通信処理部、14、31 実行処理部、15 シミュレーション実行データ格納部、16 干渉チェック処理部、17 シミュレーション時間管理処理部、18 3次元形状表示処理部、20 仮想工場カーネル、21 仮想機器シミュレータ、22 仮想機械、23 仮想コントローラ、32 機構データ格納部、33 位置・姿勢データ格納部、34 3次元形状データ格納部、43 動作データ格納部、44 コマンド解析処理部、45 軌跡補間処理部、46 逆運動学解析処理部、51 赤外線センサー（センサー）、51C センシング領域、52 ワーク、61 ロボットハンド（仮想機器）、91 仮想工場単位オブジェクト、92 通信要素、93 挙動要素、94

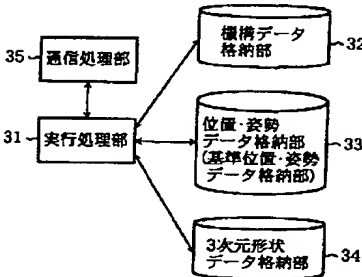
形状要素、95 属性要素、121 作業変数定義部、122 作業変数情報格納部、123 プログラム＊

＊変換処理部（作業変数変換部）。

【図1】



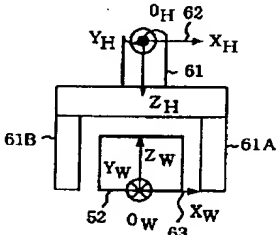
【図2】



【図10】

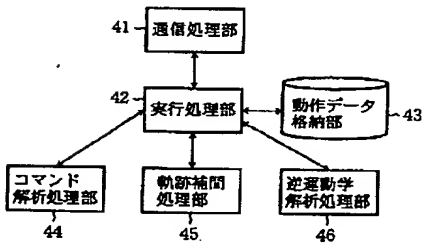
関節番号	関節タイプ
1	直動
2	回転
3	回転
4	回転
5	回転

【図5】

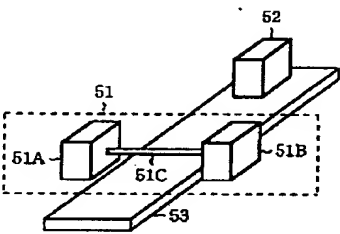


61：ロボットハンド（仮想機器）

【図3】

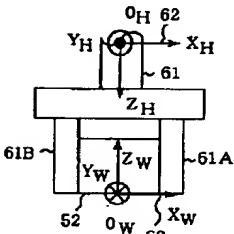


【図4】



51：赤外線センサー（センサー）
51C：センシング領域
52：ワーク

【図6】



【図9】

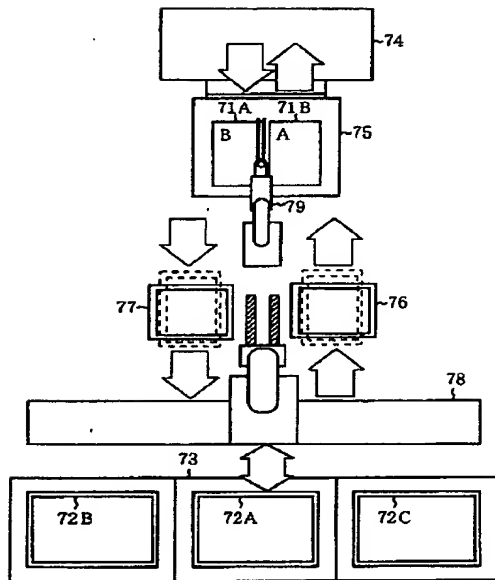
関節番号	theta	twist	offset	distance
リンク0	0.0	0.0	0.0	0.0
リンク1	0.0	0.0	140.0	0.0
リンク2	0.0	0.0	0.0	63.0
リンク3	0.0	0.0	0.0	40.0
リンク4	0.0	$-\pi/2$	-54.0	0.0
リンク5	0.0	0.0	0.0	0.0

【図14】

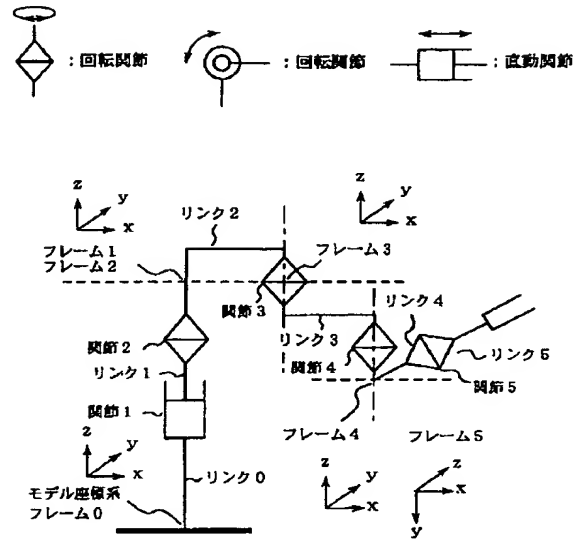
プログラム
MoveOutStage

```
SET_STATE Moving 1
MP 77.0, 45.0, 160.0, 90, 90, 180
MP 77.0, 45.0, 180.0, 90, 90, 0
MP 50.0, 45.0, 180.0, 90, 180, 0
MP 52.5, 70.0, 150.0, 90, 270, 0
SET_STATE Moving 0
```

【図7】



【図8】



【図11】

```

***** 仮定モデルのデータ *****
#EQUIPMENT_START
.TH_NAME RH0
#EQUIPMENT_END

***** コントローラのデータ *****
#COMPONENT_START
.TYPE CONTROLLER
.TH_NAME RH0Controller0
.BH_NAME RH0BhController0
.BEHAVIOR1
.LIFE 100.00000
.SAMPLING 0.500000
.SHAPE rh0.set
.LINK0 1.000000 1.000000 0.598039 1.000000
.FRAME 0.000000 0.000000 0.000000 63.000000
.TARGET1
.JOINT0
.COLLISION0
#PART_END

***** リンク3のデータ *****
#PART_START
.TH_NAME RH0Link3
.BH_NAME RH0BhLink3
.BEHAVIOR1
.LIFE 100.00000
.SAMPLING 0.500000
.SHAPE rh3.set
.LINK0 1.000000 1.000000 0.598039 1.000000
.FRAME 0.000000 0.000000 0.000000 40.000000
.TARGET1
.JOINT0
.COLLISION0
#PART_END

***** リンク4のデータ *****
#PART_START
.TH_NAME RH0Link4
.BH_NAME RH0BhLink4
.BEHAVIOR1
.LIFE 100.00000
.SAMPLING 0.500000
.SHAPE rh4.set
.LINK0 1.000000 1.000000 0.598039 1.000000
.FRAME 0.000000 -81.000000 -64.000000 0.000000
.TARGET1
.JOINT0
.COLLISION0
#PART_END

***** リンク5のデータ *****
#PART_START
.TH_NAME RH0Link5
.BH_NAME RH0BhLink5
.BEHAVIOR1
.LIFE 100.00000
.SAMPLING 0.500000
.SHAPE rh5.set
.LINK0 1.000000 1.000000 0.598039 1.000000
.FRAME 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
.TARGET1
.JOINT0
.COLLISION1
#PART_END

***** リンク0のデータ *****
#PART_START
.TH_NAME RH0Link0
.BH_NAME RH0BhLink0
.BEHAVIOR1
.LIFE 100.00000
.SAMPLING 0.500000
.SHAPE rh0.set
.LINK0 1.000000 1.000000 0.598039 1.000000
.FRAME 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
.TARGET1
.JOINT1
.COLLISION0
#PART_END

```

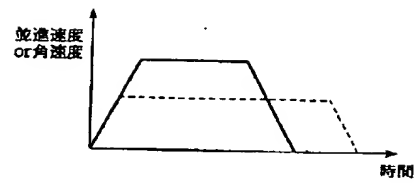
【図12】

属性	内容
_ANGLE_ACC_MAX	手先の最大回転加速度
_ANGLE_VEL_MAX	手先の最大回転速度
_BEHAVIOR	挙動のenable/disable
_BH_NAME	挙動オブジェクト名の登録
_FRAME	フレーム座標系の設定
_INVERSE	機構のタイプ選択
_JO	通信オブジェクトの設定
_LAYOUT	仮想機構の配置位置
_LIFE	ライフタイムの設定
_PARENT	単位オブジェクト間の親子関係の設定
_SAMPLING	サンプリング・タイムの設定
_SHAPE	形状データの設定
_TARGET	制御対象としての登録
_TH_NAME	単位オブジェクト名の登録
_TYPE	単位オブジェクト・タイプの登録
_COLLISION	干渉チェックリストへの登録
_JOINT	関節タイプの指定
_TRANS_ACC_MAX	手先の最大並進加速度
_TRANS_VEL_MAX	手先の最大並進速度

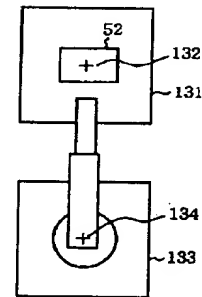
【図13】

機器	状態	内容
カセットステーション	Moving	カセットローダの移動/停止
ロボットG	Absorbed	パネルの吸着完了
	Released	パネルの解放完了
	Moving	ロボットの移動/停止
ロボットR	Absorbed	パネルの吸着完了
	Released	パネルの解放完了
	Moving	ロボットの移動/停止
位置決め台	Rotated0	0度位置への移動完了
	Rotated90	90度位置への移動完了
	Checker	パネルセンサのON/OFF
プロセス装置	CompleteIn	キャリアのロード完了
	CompleteOut	キャリアのアンロード完了
	Processing	パネル処理中
	CheckerA	キャリアAのパネルセンサのON/OFF
	CheckerB	キャリアBのパネルセンサのON/OFF

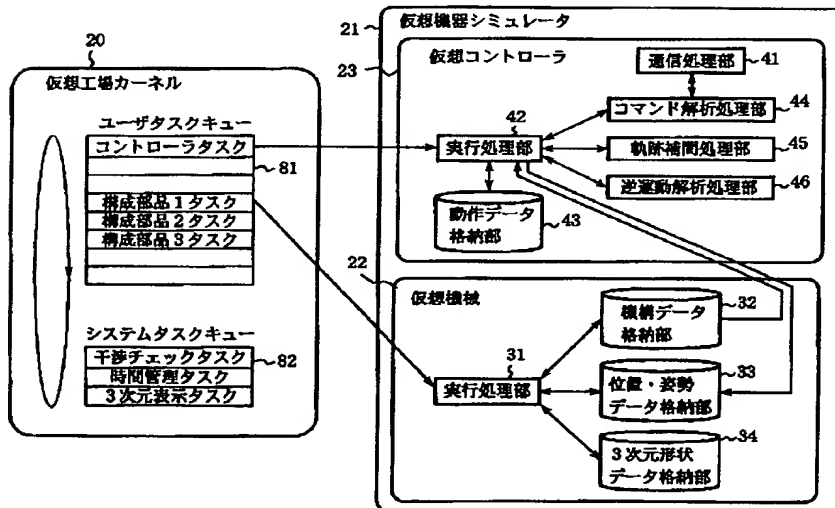
【図17】



【図24】

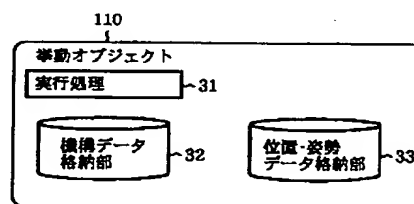
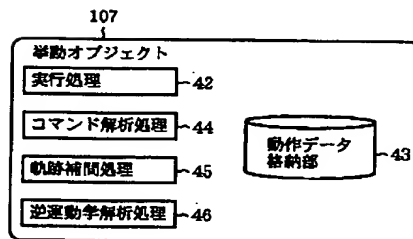


【図15】

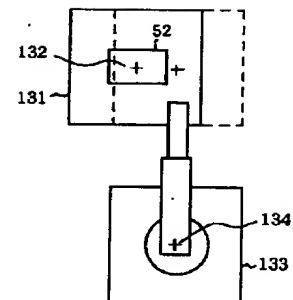


【図21】

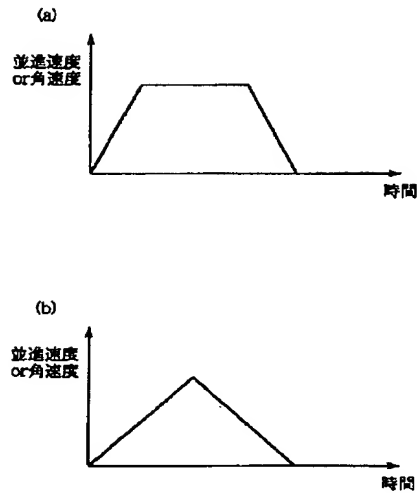
【図22】



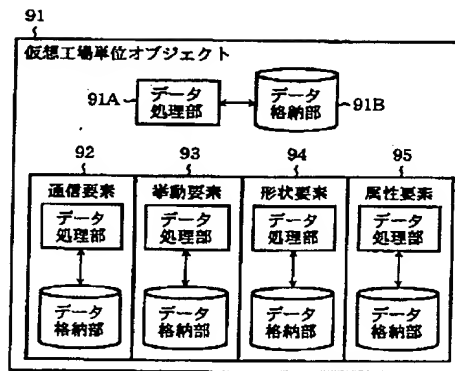
【図25】



【図16】

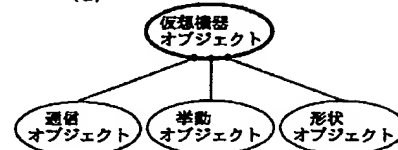


【図18】

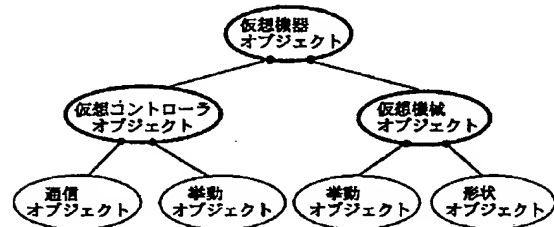


【図20】

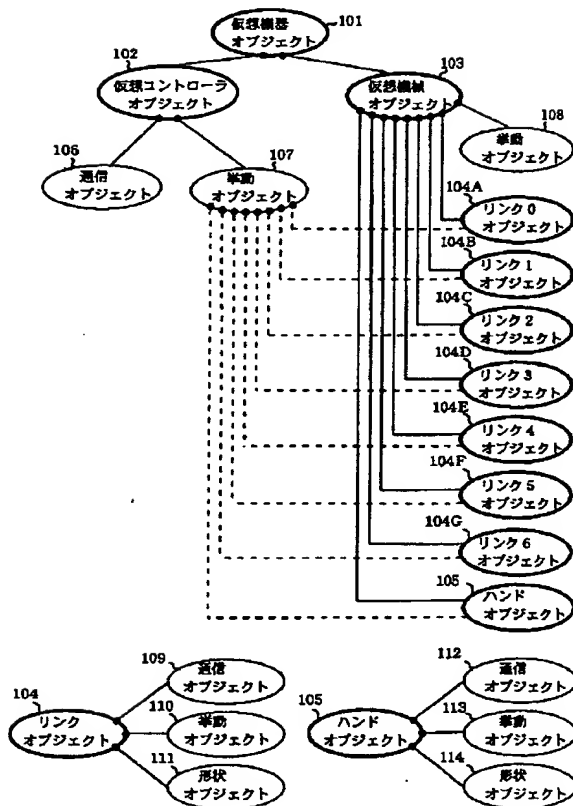
(a)



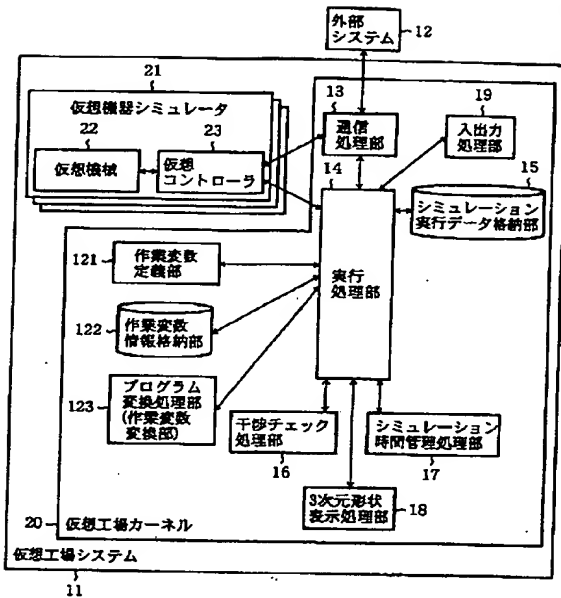
(b)



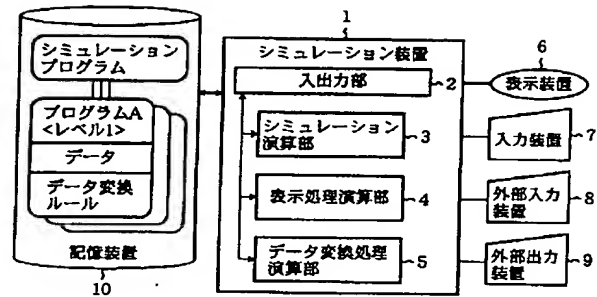
【図19】



【図23】



【図26】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5B049 BB07 CC31 EE03 EE41 FF03
 FF04
 5H004 GA30 GB16 GB18 HA07 HB07
 JA04 JB07 KC22 KC27 LA15
 LA18 MA38 MA40 MA51
 5H269 AB01 AB33 BB07 BB13 BB14
 EE01 EE27 QE10

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)